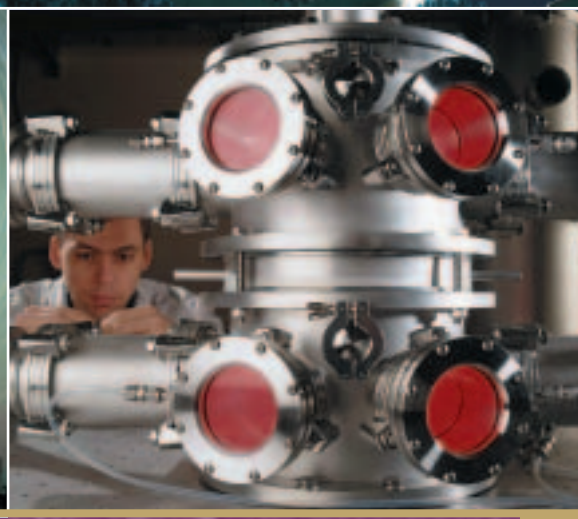
FÉVRIER 2004 > N°23

Centre CEA de Saclay
LE JOURNAL



DOSSIER
Num@tec, NeuroSpin : deux grands projets pour le plateau de Saclay

Nanotechnologies : recomposer la matière

Antares : un télescope sous la Méditerranée →

CYCLOPE JUNIORS Des conférences pour les jeunes

Éditorial

Éditeur
CEA (Commissariat à l'énergie atomique)
Centre de Saclay
91191 Gif-sur-Yvette Cedex
Directeur
Jean-Pierre Pervès
Directeur de la publication
Yves Bourlat
Rédacteur en chef
Christophe Perrin
Rédactrice en chef adjointe
Sophie Astorg
Iconographie
Chantal Fuseau
Conception graphique
Mazarine image
2, square Villaret de Joyeuse
75017 Paris
Tél. : 01 58 05 49 25

Crédits photos
Agence d'architecture Claude VASCONI
Airbus Industrie
ANDRA
AREVA
CEA / DSM / Dapnia
CEA / C. Dupont
CEA / DRT
CEA / A. Gonin
CEA / E. Joly
CEA / L. Médard
CEA / Oasis
CEA / SHFJ
CEA / Thierry Foulon
CEA / U. Bieder / Forschungszentrum Rossendorf
CFHT / J-C Cuillandre
Ciel et Espace / F. Espenak
CNRS Photothèque / Denis Vivien, Alain Buisson
CNRS Photothèque / F. Montanet
Courtesy of Center for Magnetic Resonance Research, University of Minnesota
P. Ferbos
RATP / G. Aligon
RATP / Marguerite Bruno
RATP / J-F Mauboussin
Renault / J. Bégot
Commission paritaire
N° ISSN 1276-2776
Centre CEA de Saclay
Droits de reproduction, texte et illustrations réservés pour tous pays

Photos de couverture
De gauche à droite et de haut en bas :
Num@tec, NeuroSpin, l'Observatoire Canada-France-Hawaï, Synthèse de nanopoudres, un détecteur d'Antares.

Sommaire n° 23

Éditorial . . . . . page 2
Dossier : deux grands projets pour le plateau de Saclay . . . . . page 3
Num@tec . . . . . page 3
NeuroSpin . . . . . page 7
Actualités . . . . . page 11
Agenda . . . . . page 16

NeuroSpin, Num@tec et Stella sont autant de noms auxquels il faudra s'habituer cette année, qui verra aussi de nouveaux locaux consacrés à la biologie et à la métrologie des appareils de radiographie médicale. Le centre CEA de Saclay aborde 2004 avec des projets, des chantiers, et de nouvelles idées qui contribueront à améliorer encore notre espace.

Deux évolutions vont aussi marquer le Saclay de demain :

- L'ouverture du site est pour bientôt. Cette ouverture, qui passe par un renforcement de « l'îlotage », doit nous rendre plus accueillants, compétitifs, attractifs, et faciliter la tâche de nos sous-traitants. L'îlotage sera conduit à son terme dans les 18 prochains mois.
- L'intégration dans la vie locale se renforce. Soulignons l'appui du Conseil Général et du Conseil Régional qui ont décidé à l'unanimité, en décembre 2003, de contribuer largement à nos projets, à NeuroSpin et Num@tec en particulier, objets du dossier de ce journal.

A nous d'apporter les hautes technologies et le développement industriel, de contribuer à l'effort d'éducation et de formation. A nous également de renforcer la crédibilité de nos recherches et de nos missions par notre adhésion au développement durable, par une amélioration constante de la qualité de notre travail et de notre environnement. Les certifications de nos activités (ISO 9001) et de notre politique environnementale (ISO 14001) sont des objectifs immédiats.

Ces évolutions marquent l'effort d'adaptation de nos programmes aux besoins de la société, effort parfois douloureux puisqu'il faut opérer des choix, ralentir ou arrêter des études et des installations pour mieux se déployer par ailleurs.

Réacteur européen à eau pressurisée, réacteurs de 4ème génération, nanosciences et technologies numériques, imagerie médicale et sciences du génome, biologie moléculaire et ingénierie des protéines, recherches en physique nucléaire et sur l'état condensé, les atomes et les molécules, astrophysique, sciences du climat : tous ces thèmes ont leur place au centre CEA de Saclay, pluridisciplinaire par essence.

Meilleurs vœux à tous, en particulier à ceux qui font du plateau de Saclay un espace exceptionnel, une terre de recherche.

Jean-Pierre Pervès
Directeur du centre CEA de Saclay

La Finlande commande un réacteur nucléaire EPR à AREVA

La compagnie d'électricité finlandaise TVO a signé le 18 décembre 2003 avec le consortium AREVA et SIEMENS un contrat pour construire le réacteur EPR[1] sur le site d'Olkiluoto en Finlande. Le montant global du projet clé en main est estimé à 3 milliards d'euros. D'une puissance d'environ 1600 MWe[2], le réacteur devrait être mis en service en 2009.

L'EPR bénéficie du retour d'expérience de plus de cent réacteurs nucléaires construits par AREVA dans le monde. C'est le modèle de réacteur le plus avancé en matière de compétitivité, de sûreté et de respect de l'environnement.

1 EPR : European Pressurized water Reactor ou encore Réacteur européen à eau pressurisée.
2 MWe : puissance électrique, soit, compte tenu du rendement, la moitié de la puissance thermique.

Photomontage du site finlandais, avec l'EPR au premier plan et les installations existantes à l'arrière plan.

Deux grands projets pour le plateau de Saclay

1

Num@tec : une plate-forme d'innovation pour les technologies numériques

Num@tec est une plate-forme centrée sur les technologies numériques, ouverte à tous les acteurs de l'industrie et de la recherche. Elle accueillera des start-up dans un incubateur, accompagnera les PME par des services à l'innovation et proposera des formations à la recherche et à l'entrepreneuriat.

Après la création du pôle grenoblois dédié aux micro et nanotechnologies (Minatec), le CEA va compléter, avec Num@tec, l'offre française en matière de Technologies de l'information et de la communication (TIC).

Ces TIC génèrent des activités industrielles et stimulent l'ensemble de l'économie. En France, leur contribution à la croissance est évaluée entre 15 et 20 %.

Num@tec rassemblera les chercheurs du CEA et du CNRS spécialistes des technologies logicielles et systèmes et deviendra un pôle d'envergure internationale. Il s'agit de parvenir aux ruptures technologiques qui permettront de concevoir de futures générations de produits et de services « intelligents ».

Un pôle européen en Essonne

Le schéma directeur d'Ile-de-France a défini cinq Centres d'envergure européenne qui bénéficient d'un soutien

Num@tec en quelques questions

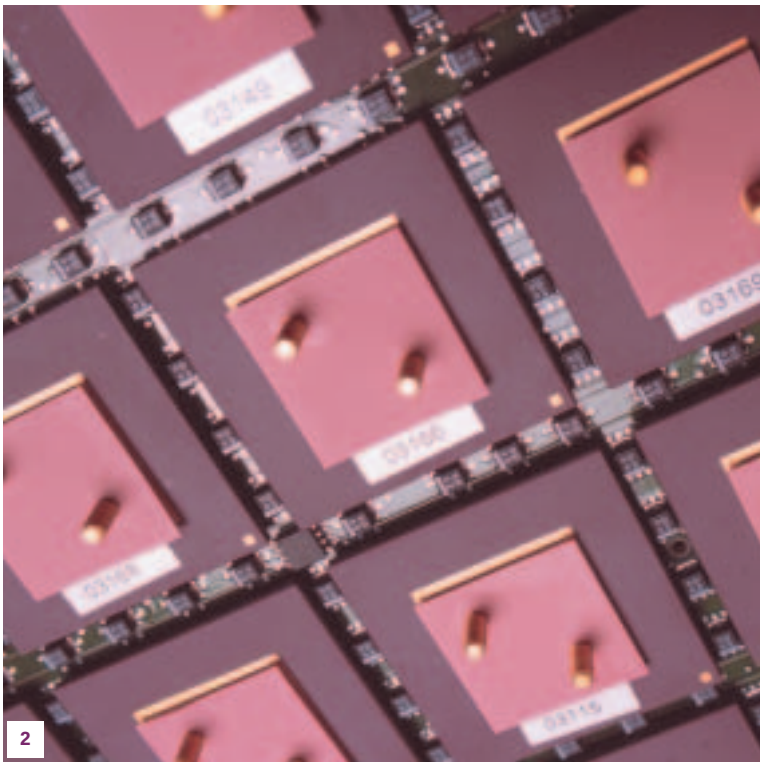
Quand ? La construction démarre en 2005 après deux années d'études générales. Entrée en service en 2007.

Où ? 18.000 m² sur le plateau de Saclay.

Quels personnels ? Un effectif voisin de 1 000 personnes est visé pour 2011. Il comprend 500 salariés du CEA, 400 du CNRS et 100 emplois industriels.

Combien de créations d'emplois ? Le nombre d'emplois créés monte en puissance jusqu'à environ 180 en 2011.

Quels financements ? Le CEA et le CNRS investissent 80 millions d'€ en équipements de recherche sur la période 2003-2011. Les collectivités territoriales partenaires financent l'essentiel des infrastructures (30 millions d'€ au total) sur la période 2003-2007, le CEA et le CNRS apportant le complément.



2

spécifique de l'Etat et de la Région. Num@tec participe au rayonnement de celui de Massy-Saclay-Courtaboeuf.

Cette plate-forme technologique contribuera, avec le Pôle commun de recherche en informatique du CNRS, de l'INRIA, de l'Université Paris-Sud et de l'Ecole polytechnique, à créer en Ile-de-France un Pôle de recherche sur les technologies logicielles bénéficiant d'une visibilité majeure en Europe.

Les technologies numériques au CEA

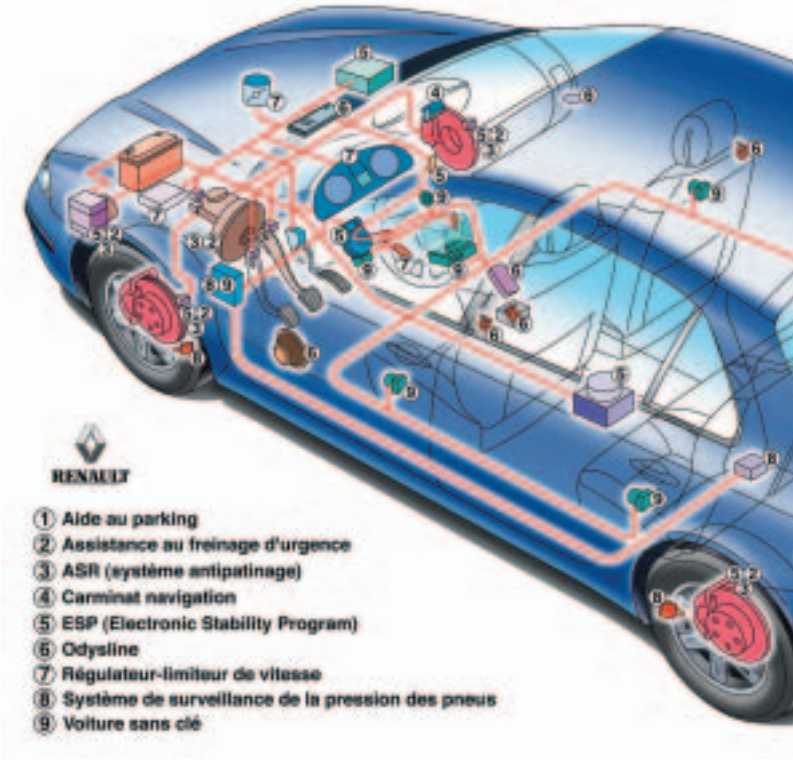
Dès son origine, le CEA a développé des systèmes de pilotage de ses installations, depuis le capteur qui mesure une grandeur physique (température, pression…) jusqu'au calculateur qui collecte les renseignements, les interprète et les communique de manière intelligible et fiable à un opérateur. Par ailleurs, certaines tâches en milieu hostile, sous rayonnement par exemple, peuvent être allégées par des systèmes automatisés ou même déléguées à des robots.

De ce fait, le CEA est devenu le principal opérateur français de recherche en microélectronique et nanotechnologies, en partenariat avec des industriels comme STMicroelectronics. Aujourd'hui, alors que les puces électroniques ont progressé de manière soutenue, la maîtrise des technologies logicielles est devenue l'enjeu majeur qui fonde la dynamique de Num@tec.

Au service de l'innovation

Au sein du CEA, Num@tec va regrouper les équipes du List (Laboratoire d'intégration des systèmes et des technologies de la Direction de la recherche technologique) implantées dans les centres CEA de Saclay et de Fontenay-aux-Roses, ainsi que des spécialistes de modélisation de la Direction de l'énergie nucléaire de Saclay. Le CNRS apportera des laboratoires issus des Sciences et technologies de l'information et de la communication. Des liaisons à haut débit sont prévues entre les locaux de Num@tec et les organismes partenaires, y compris les moyens de calcul de la plate-forme Ter@tec du centre CEA de Bruyères-le-Châtel (voir encadré, page 6).

L'ensemble constituera un puissant pôle de recherche en même temps qu'un formidable «espace projet», terre d'accueil pour les industriels. Des laboratoires communs avec d'autres organismes de recherche y seront intégrés, ainsi qu'une antenne de l'incubateur IFSI[1] pour les start-up et un «laboratoire d'idées» pour favoriser la créativité par des échanges entre ingénieurs, chercheurs et industriels. Une structure dynamique et réactive sera mise en place dans un espace baptisé « Maison des technologies numériques » pour accueillir des industriels et favoriser le soutien à l'innovation des PME et PMI. Cette «maison» hébergera une exposition destinée au public sur les perspectives ouvertes par les technologies numériques.


RENAULT
1 Aide au parking
2 Assistance au freinage d'urgence
3 ASR (système antipatinage)
4 Carminat navigation
5 ESP (Electronic Stability Program)
6 Odysline
7 Régulateur-limiteur de vitesse
8 Système de surveillance de la pression des pneus
9 Voiture sans clé

Num@tec, mode d'emploi

Vous êtes industriel.

Ce pôle vous donnera accès à des capacités de recherche technologique, à des moyens de qualification et d'essai et à des services de veille. Une structure spécialisée analysera vos besoins, conduira un programme structuré en projet jusqu'au démonstrateur industriel et favorisera le transfert de technologie à votre entreprise.

Vous êtes chercheur.

Vous disposerez d'un lieu unique garantissant la coordination des activités par rapport aux besoins industriels et vous pourrez vous appuyer sur les équipes de recherche fondamentale du CEA, du CNRS, des universités et des grandes écoles voisines.

Vous êtes créateur d'entreprise.

Vous bénéficierez d'un dispositif de sensibilisation et de formation à la création de start-up. Vous pourrez accéder à des résultats de recherche industrialisables et à l'incubateur. Vous serez accompagné dans votre démarche pour ce qui concerne la propriété industrielle, les licences et les aides à l'innovation notamment.

Vous êtes étudiant.

Vous serez invité à visiter la « Maison des technologies numériques ». Divers stages vous seront proposés.

Contact : pierreyjl@zoe.cea.fr

Thématiques logicielles …

… embarquées

Imaginer de nouvelles architectures informatiques, maîtriser la conception et la sûreté des logiciels par des outils informatiques sont des enjeux primordiaux pour les systèmes de pilotage des centrales nucléaires, des usines, des avions ou des voitures.

Airbus a ainsi choisi en 2003 l'outil logiciel Caveat développé par le CEA List pour traquer, dans ses programmes informatiques, des erreurs susceptibles d'être à l'origine de défaillances. De même, Thales, l'INRIA et le CEA List se sont associés dans CARROLL, un programme commun de R&D pour développer de nouveaux outils de génie logiciel.

… interactives

Développés pour le nucléaire, les bras télémanipulateurs se déclinent aujourd'hui dans des interfaces, dites à « retour d'effort », comme l'interface haptique[2] Virtuose du CEA List commercialisée aujourd'hui par la société Haption. Dans le domaine médical, ces organes de commande se révèlent de précieux outils pour la rééducation, l'entraînement des chirurgiens ou l'aide aux handicapés. Dans le domaine industriel, le couplage de ces interfaces avec la CAO (Conception assistée par ordinateur) et la réalité virtuelle permettent de concevoir les « bureaux d'études du futur » qui pourraient simuler des chaînes de montage, un poste de travail, voire l'assemblage de pièces. De nombreux industriels dont Renault, Aérospatiale, Dassault Aviation et PSA sont partenaires du CEA List pour le développement de ces outils.

3

4

… simulatrices

Le CEA modélise des phénomènes physiques et développe des techniques de génie logiciel afin de construire des outils de conception d'objets industriels complexes, permettant d'accélérer significativement le « time to market[3] », enjeu de compétitivité majeur. Améliorant fonctionnalités et performances, ils préparent rigoureusement toutes les étapes du cycle de production en série. Cette démarche séduit de nombreux clients industriels comme EDF, Renault, EADS, Schlumberger, etc…

En interface avec le monde physique

Les systèmes développés au CEA pour le contrôle non destructif et l'instrumentation industrielle sont basés sur des innovations majeures issues des technologies de l'industrie nucléaire, comme le logiciel CIVA en passe de devenir une référence internationale pour le contrôle non destructif, ou encore l'imagerie portable avec la caméra gamma de visualisation de sources radioactives, qui bat des records de compacité et d'économie d'énergie.

Une activité capteur très novatrice est issue de filières technologiques comme le diamant ou les capteurs à fibres optiques. Les capteurs diamant sont mis au point pour les

nouveaux traitements en radiothérapie : c'est l'un des défis du projet européen MAESTRO, en dosimétrie. Dans le domaine des capteurs à fibres optiques, la technologie des « réseaux de Bragg[4] » se voit reconnue pour sa robustesse dans des domaines aussi variés que le génie civil avec l'instrumentation du Pont Saint-Jean à Bordeaux, l'aéronautique ou le ferroviaire… et jusque dans la voile de compétition.

Enfin certaines applications de contrôle non destructif nécessitent le développement de capteurs « intelligents » et de nouvelles méthodes de contrôle et de traitement du signal. Il s'agit de combiner des technologies innovantes avec des outils logiciels avancés. L'idée de connecter la simulation de contrôle non destructif (CIVA) à un outil de CAO permet aux concepteurs de nouveaux produits de réduire considérablement les temps de cycle chez les constructeurs aéronautiques. Le logiciel CIVA se positionne en leader dans ce domaine.

1 IFSI : Ile-de-France-Sud Incubateur.

2 Haptique : relative au toucher.

3 Time to market : temps de développement d'un produit jusqu'à sa mise sur le marché.

4 Réseau de Bragg : composant optique qui disperse la lumière et permet notamment d'analyser des contraintes mécaniques.

5

6

7

1 **Airbus Industrie a choisi le logiciel Caveat, développé par le CEA, pour détecter et éliminer de manière automatisée certaines erreurs informatiques dans les futurs systèmes de pilotage de son gros porteur, l'A380.**

2 **Dans le domaine du calcul avancé, l'architecture d'un calculateur dit «reconfigurable» a la capacité de s'adapter à l'application à laquelle il est destiné, alors que dans une architecture de calcul classique, c'est l'application qui doit s'adapter à l'architecture. Ainsi, grâce à ce type de technologie qui est bien maîtrisée au CEA List, il est possible de développer des systèmes embarqués à haut degré de performances.**

3 **Des systèmes électroniques (dits « embarqués ») équipent de plus en plus les téléphones, les voitures ou les avions. Dans l'automobile, ils peuvent atteindre le quart du prix d'un modèle haut de gamme. A Saclay, des chercheurs travaillent à l'automatisation des méthodes de conception, de développement et de test de tels systèmes, afin de les adapter à une fabrication en série. Il s'agit d'obtenir des gains de productivité importants et des fonctionnalités supplémentaires.**

4 **Dans l'usine COGEMA de La Hague, qui assure le traitement des combustibles nucléaires usés, il est utile de disposer de modèles tridimensionnels de certains locaux et de leurs équipements (ici la tuyauterie) pour piloter des opérations automatisées de maintenance et plus tard de démantèlement. La reconstitution tridimensionnelle permet de contrôler, en cours de fabrication, la conformité de pièces critiques pour la sécurité, comme les joints de culasse pour l'automobile. Ces technologies ont été transférées à ActiCM, une start-up du CEA List.**

5 / 6 **La concomitance d'un bruit intense et de mouvements brusques peut être interprétée comme une situation d'agression potentielle. Une caméra « intelligente » doit pouvoir repérer ces situations, pour faciliter le contrôle de centaines d'écrans. Le CEA travaille à cette caméra avec la RATP.**

7 **Le robot Virtuose 3D manipule un objet virtuel en permettant à l'opérateur de sentir un retour d'effort, comme si l'objet avait un poids et un volume.**

Ter@tec, un pôle d'excellence en simulation numérique

Depuis l'arrêt définitif des essais nucléaires, la Direction des applications militaires (DAM) du CEA a développé des compétences et des moyens exceptionnels en simulation numérique. Le centre CEA de Bruyères-le-Châtel compte 800 chercheurs, ingénieurs et techniciens spécialisés dans le calcul intensif, qui exploitent, entre autres, le supercalculateur le plus puissant d'Europe. Cette machine baptisée Tera peut effectuer cinq mille milliards d'opérations par seconde. Depuis octobre, deux autres machines accessibles à l'ensemble des chercheurs du CEA et à ses partenaires industriels sont disponibles via des réseaux à hauts débits. Le projet Ter@tec vise à ouvrir ce potentiel à l'ensemble de la communauté scientifique et industrielle.

Dès 2004, une plate-forme d'évaluation et de développement accueillera des universitaires, des industriels et des ingénieurs d'autres centres CEA dans des locaux du centre de Bruyères-le-Châtel, en zone ouverte. D'ici à 2010, le CEA a pour ambition de créer en Ile-de-France un pôle de dimension européenne consacré à la simulation hautes performances, en s'appuyant sur une puissance de calcul multipliée par cent.

Contact : francois.garaude@antigone.cea.fr

1

Centre de neuro-imagerie de Saint-Aubin

NeuroSpin : voir le cerveau penser

Repousser à l'extrême les limites actuelles de l'imagerie cérébrale par la Résonance magnétique nucléaire[1] à très haut champ magnétique, telle est l'ambition de NeuroSpin. Situé dans le centre CEA de Saclay, sur sa partie Saint-Aubinoise, NeuroSpin complètera les installations du Service hospitalier Frédéric Joliot (SHFJ) d'Orsay. L'ensemble constituera une plate-forme d'imagerie unique en Europe.

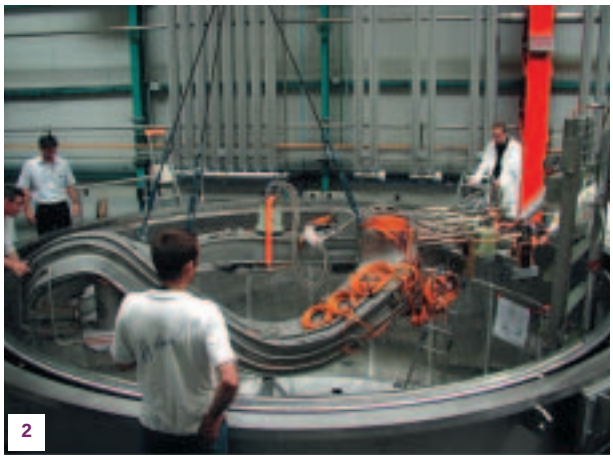
Un rapport de l'Académie des sciences remis en novembre 2003 aux ministères de la santé et de la recherche pointait le manque de moyens affectés aux neurosciences en France et recommandait des investissements à la hauteur des défis à relever, qu'il s'agisse de l'étude de maladies neurologiques (Alzheimer) ou d'affections psychiatriques (dépression ou schizophrénie). Créé à l'initiative du CEA, le centre de neuro-imagerie en champ intense NeuroSpin contribuera à réduire ce déficit. Il vise à développer des outils et des modèles pour mieux analyser le cerveau humain en développement, en fonctionnement, ainsi que les anomalies qui s'y rapportent. Comprendre l'origine de la maladie, assurer le suivi thérapeutique des patients, aider la chirurgie à trouver un angle d'approche sont autant de tâches dévolues à l'IRM[2]. A terme, des retombées sont également attendues en intelligence artificielle, en sciences sociales, dans l'éducation et dans l'industrie.

Un regroupement de ressources

Au sein du CEA, le SHFJ s'apprête à « essaimer » sur deux plates-formes d'imagerie complémentaires : NeuroSpin au CEA de Saclay, dédiée à l'IRM du cerveau et Imagene au CEA de Fontenay-aux-Roses, dédiée aux thérapies géniques des maladies neurodégénératives (essais

Le saviez-vous ?

Le tesla (T) est l'unité de mesure du champ magnétique du système international. L'aimant des IRM hospitalières vaut 1,5 T et celui des IRM de recherche 3 T. A titre de comparaison, le champ magnétique terrestre atteint en moyenne une intensité de 50 millionièmes de tesla à la surface du globe.
Cette unité porte le nom d'un savant américain d'origine croate, Nikola Tesla (1856-1943), dont les idées permirent de concevoir le matériel de génération et de transport d'électricité.


2

pré-cliniques, sur l'animal). Dans le même temps, le SHFJ se recentre sur les techniques d'imagerie radioisotopique (TEP[3]). L'ensemble de ces entités CEA contribuera à l'émergence d'un centre d'excellence européen de recherche médicale.

Grand instrument pour la biologie, NeuroSpin sera ouvert à l'ensemble de la communauté nationale et internationale, notamment européenne, sur le modèle des grandes installations de physique. Des industriels de l'imagerie médicale ont manifesté leur intérêt à participer aux développements technologiques dont NeuroSpin sera le moteur.

L'IRM au CEA

En parallèle des études de RMN pour l'analyse chimique et l'étude structurale des protéines, l'imagerie par RMN ou IRM s'est développée au CEA. Riche de potentialités en recherche médicale, cette imagerie décèle d'infimes variations d'aimantation des tissus, sans aucun traumatisme et sans injection de produits radioactifs et elle peut se décliner en de nombreuses variantes.

Pour produire et exploiter de très hauts champs magnétiques, le projet NeuroSpin mobilise deux viviers de compétences du centre CEA de Saclay : les physiciens du Dapnia[4], spécialistes des aimants supra-conducteurs des grands accélérateurs de particules et les experts de l'imagerie et de la neurobiologie du SHFJ.

Mixicité interdisciplinaire

L'originalité de NeuroSpin tient au rapprochement de deux «mondes».

D'un côté, des équipes «méthodologiques» cherchent à atteindre les résolutions spatiales et temporelles ultimes de l'imagerie. Elles travaillent à la conception d'un nouvel aimant produisant un champ magnétique de 11,7 teslas (voir «Le saviez-vous ?») et préparent les nécessaires

L'Imagerie par résonance magnétique (IRM) ou RMN

Cette méthode d'imagerie est fondée sur les propriétés magnétiques d'atomes ou de molécules présents dans l'organisme. Elle permet d'observer les tissus dits « mous » tels que le cerveau, la moelle épinière ou les muscles. Elle donne à voir la structure de l'organe (IRM) et son fonctionnement (IRM fonctionnelle).

IRM et RMN

Le noyau de certains atomes est doté d'un «moment magnétique» ou spin. Cela signifie qu'il se comporte comme une toupie aimantée et adopte différentes orientations selon le champ magnétique. Si on applique à ce noyau un champ électromagnétique de fréquence appropriée (dite de résonance), l'axe de la toupie bascule. Le retour à l'état normal s'accompagne de l'émission d'un signal électromagnétique à l'origine de l'image.
Pour obtenir une image et pas un point, on applique un champ magnétique variable dans l'espace de sorte que la fréquence de résonance change d'un point à l'autre de l'objet. Avec une fréquence donnée, seule une région bien délimitée se trouve en résonance. Une simple modification du champ magnétique permet de décaler la région sondée et de parcourir l'objet entier. Un traitement informatique reconstruit une image tridimensionnelle présentée en coupes successives.

IRM anatomique

La résonance des noyaux d'hydrogène, présents en abondance dans l'eau et les graisses des tissus biologiques, permet de distinguer la structure anatomique d'un organe. L'IRM peut être utilisée pour le diagnostic de tumeurs cancéreuses ou pour localiser certaines malformations, à l'origine d'épilepsies notamment.

IRM fonctionnelle (IRMf)

Quand nous parlons, lisons, bougeons, pensons…, certaines aires de notre cerveau s'activent. Ce phénomène s'accompagne d'une augmentation locale du débit sanguin. Cette fois, c'est la résonance des molécules d'hémoglobine qui est exploitée. Sous sa forme oxygénée, l'hémoglobine n'est pas active en RMN mais le devient lorsque l'oxygène qu'elle porte est consommé. La perturbation du signal de RMN induite par ces molécules permet de localiser le sang désoxygéné chassé par l'afflux de sang oxygéné, et donc, les aires cérébrales activées.

Une plate-forme en quelques questions

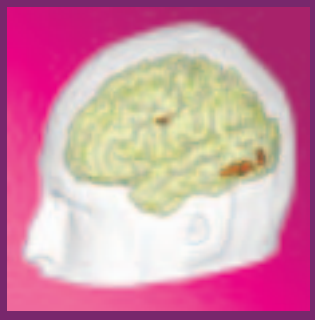
Quand ? **Les travaux de génie civil démarrent en novembre 2004. Le bâtiment est livré début 2006. La plate-forme entre en service au 2ème trimestre 2006 et devient opérationnelle en 2007.**

Où ? **Dans une zone ouverte du centre CEA de Saclay située sur la commune de Saint-Aubin.**

Quels personnels ? **A terme, l'effectif atteindra 160 personnes, dont quatre-vingts permanents.**

Quels équipements ? **Deux systèmes d'IRM travaillant sous des champs magnétiques de 3 et 11,7 teslas sont dédiés à l'homme. Deux autres sont dédiés au primate (sous 11,7 teslas) et à la souris (sous 17 teslas).**

Quels financements ? **NeuroSpin est cofinancé par le CEA et les collectivités territoriales. Des demandes sont en cours auprès d'autres institutions et auprès de l'Union européenne.**



IRM de diffusion (IRMd)

L'IRM de diffusion se situe à mi-chemin entre l'IRM anatomique et l'IRM fonctionnelle.
Le signal de RMN peut être rendu sensible à la diffusion des molécules d'eau dans l'organisme. Ces molécules sont naturellement animées de mouvements aléatoires (ou browniens), résultant à plus grande échelle en un mouvement collectif de diffusion. Leur progression peut être ralentie par divers obstacles, comme des membranes cellulaires ou des macromolécules. Traduite en image, la diffusion révèle des détails de dimension microscopique.
Appliquée au cerveau, l'IRMd dévoile la structure en faisceaux de fibres de la matière blanche et met en évidence le « câblage » reliant les aires cérébrales actives, identifiées par IRMf. A très haut champ magnétique, l'IRMd détectera les infimes gonflements des cellules actives, un phénomène qui reflète plus exactement le fonctionnement du cerveau.

Ci-dessus : l'imagerie cérébrale confirme l'hypothèse d'une perception subliminale des mots. Une partie des régions cérébrales sollicitées par un processus de lecture conscient (à gauche) est aussi activée inconsciemment par la présentation subliminale de mots (à droite). Ci-contre : rendu tridimensionnel d'un hémisphère cérébral, montrant quelques sillons et connexions, obtenus par IRM de diffusion.

3

adaptations au niveau de l'acquisition des données et du traitement du signal. Il s'agira d'une première mondiale, le record étant actuellement détenu par des Américains avec deux systèmes de 9,4 teslas.

De l'autre côté, des spécialistes de neurosciences, psychologues, linguistes et cliniciens, bénéficieront des progrès accomplis en biologie moléculaire ou cellulaire, en neurobiologie du développement, pour l'étude du génome, en neurosciences chez le primate ou chez l'homme, en sciences cognitives (liées aux fonctions supérieures du cerveau).

Cette interface particulière entre « méthodologistes », neurobiologistes et médecins constitue un terreau exceptionnellement fécond.

Comprendre le cerveau par l'image

L'imagerie neurofonctionnelle exploite en les couplant des informations anatomiques et fonctionnelles (voir encadré sur l'IRM). Deux voies de recherche sont privilégiées.

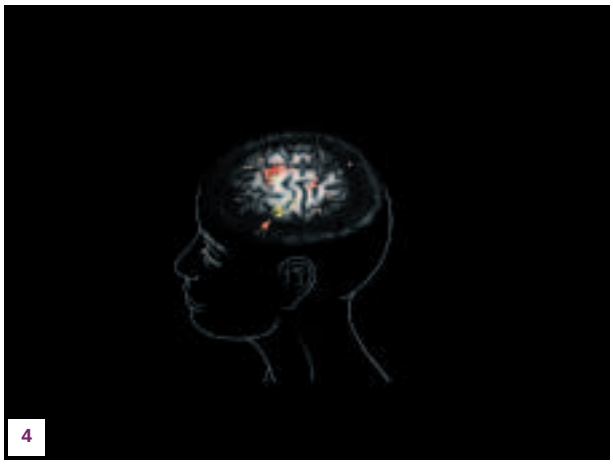
L'imagerie fonctionnelle cérébrale cherche à relier, chez le sujet sain ou malade, les fonctions cognitives (comme la perception des objets, le langage, l'attention, la mémoire ou le raisonnement) à leur composante biologique, appelée substrat neural.

L'imagerie moléculaire donne à voir l'expression des gènes[5]. A terme, elle permettra de révéler l'information fonctionnelle utile qui se cache derrière les gènes,

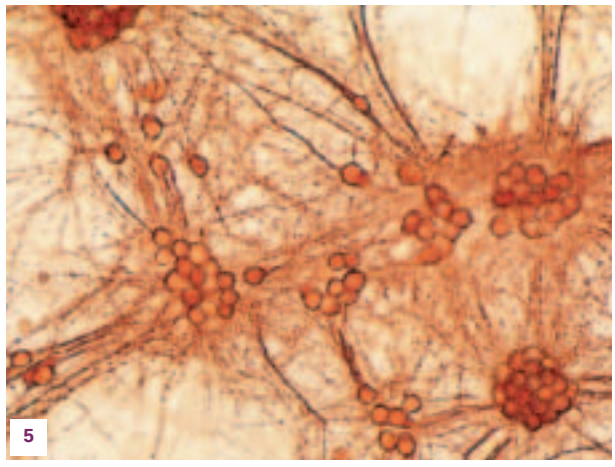
NeuroSpin, mode d'emploi

Le SHFJ entretient des collaborations régulières avec certaines unités hospitalières, au Kremlin-Bicêtre, à la Pitié-Salpêtrière ou à Necker. Des patients souffrant de pathologies neurodégénératives et suivis dans ces unités pourront être examinés dans les locaux de NeuroSpin, dans le cadre de protocoles expérimentaux.
Les chercheurs pourront proposer des expériences au comité scientifique chargé de sélectionner des projets, le cas échéant accéder aux équipements en temps partagé et à un support technique. Quand NeuroSpin sera homologué Grande installation européenne, les chercheurs européens bénéficieront d'une aide financière pour leur séjour.

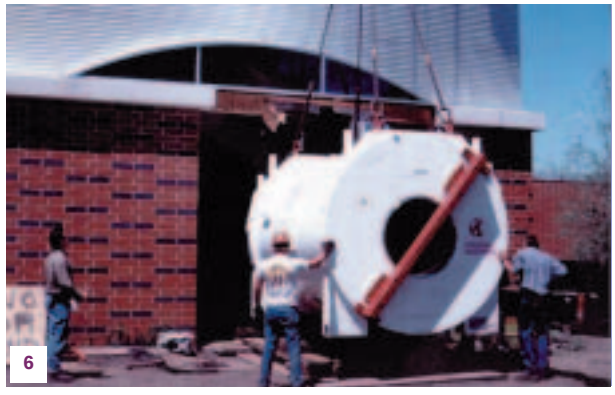
NeuroSpin constituera un moteur de l'innovation dans le domaine de l'imagerie avec de beaux projets industriels, comme la conception d'un nouvel aimant avec blindage actif, l'automatisation des analyses pour les études dans le cadre du post-génome (ensemble des études relatives aux gènes, postérieures au décryptage du génome), le développement d'appareillages à coûts réduits. Dans le cadre de projets sur contrats, des industriels du secteur biomédical pourront utiliser les équipements de NeuroSpin à des fins de recherche, pour la mise au point de médicaments par exemple. NeuroSpin recevra enfin de nombreux étudiants, à la fois pour des stages, des thèses et des post-doctorats.



4



5



6

démultipliant ainsi l'immense potentiel du génome. Comprendre, prévenir ou traiter les maladies neurologiques causées par des anomalies génétiques ou acquises lors du développement cérébral constitue l'enjeu de l'imagerie moléculaire.

Aujourd'hui, l'imagerie se heurte à diverses contraintes. Elle est à la fois trop imprécise et trop lente pour rendre compte fidèlement du fonctionnement cérébral.

La révolution de NeuroSpin

Avec NeuroSpin, l'objet d'étude sera «vu» avec une finesse d'un dixième de millimètre, à une cadence d'un dixième de seconde, ce qui représente une résolution spatiale et temporelle multipliée par dix par rapport aux instruments actuels. Observer à une échelle de temps enfin significative tous les « amas » de neurones qui composent le cerveau (des milliers de neurones au lieu de millions aujourd'hui) constitue une évolution riche de promesses. Mieux encore, le mécanisme de visualisation des zones cérébrales actives pourrait être amendé. L'IRM par diffusion (voir encadré page 9) permettrait de déceler le gonflement des cellules, un phénomène instantané, corrélé plus finement à l'activité neuronale que la variation de débit sanguin.

1 et 2 Imagerie par résonance magnétique nucléaire (RMN), encore appelée Imagerie par résonance magnétique (IRM).

3 TEP : Tomographie par émission de positons.

4 Dapnia : Département d'astrophysique, de la physique des particules, de la physique nucléaire et de l'instrumentation associée.

5 Expression des gènes : production par les gènes de brins d'acide ribonucléique « messagers ».

Contact : seurot@shfj.cea.fr

1 Vue aérienne du bâtiment de NeuroSpin créé par Claude Vasconi, lauréat du concours d'architecture.

2 Des physiciens du Dapnia, spécialistes des aimants, apportent leurs compétences au projet NeuroSpin. La photo illustre une expérience dédiée à la fusion nucléaire avec la mise en place d'un aimant du « stellarator W7X » dans la station de tests à Saclay.

3 En France, l'IRM sous un champ magnétique de 3 teslas est pour l'instant réservée à la recherche médicale, comme ici au SHFJ, à Orsay. Les IRM hospitalières sont équipées quant à elles d'aimants de 1,5 tesla.

4 L'IRM fonctionnelle met en évidence les aires cérébrales actives pendant une tâche particulière, requérant ici une combinaison de mouvements.

5 NeuroSpin permettra de voir des « amas » de milliers de neurones, au lieu de millions aujourd'hui. Son champ d'observations se situe à une échelle intermédiaire entre celle du neurone, accessible par d'autres techniques, et celle de l'IRM actuelle.

6 Le Center for Magnetic Resonance Research de l'Université du Minnesota (photo) s'équipe actuellement d'aimants dont le plus performant atteindra 7 teslas pour un diamètre de 90 cm. NeuroSpin disposera d'aimants de 11,7 teslas pour un diamètre identique.

Enrichissement de l'uranium par laser : un potentiel d'avenir

Au terme des essais réalisés à l'automne 2003 au centre CEA de Pierrelatte en étroite collaboration avec deux départements de Saclay[1], le CEA conclut positivement sur la faisabilité technique du procédé d'enrichissement de l'uranium par laser SILVA[2].

1

L'uranium naturel doit être enrichi en matière fissile pour devenir un combustible utilisable dans les réacteurs nucléaires à eau pressurisée. Cette étape indispensable consiste à séparer les deux principaux isotopes[3] de l'uranium naturel, l'uranium 235 fissile (0,7 %) et l'uranium 238 non fissile (99,3 %). Alors que d'autres procédés comme la diffusion gazeuse et l'ultracentrifugation exploitent la très faible différence de masse entre les isotopes, le procédé d'enrichissement par laser s'appuie sur d'infimes décalages des propriétés physiques des isotopes. Des atomes d'uranium éclairés par des lasers calés sur certaines couleurs réagissent différemment selon qu'il s'agit d'un isotope ou de l'autre : l'uranium 235 perd un électron et devient chargé électriquement tandis que l'uranium 238 reste neutre. C'est ce phénomène qu'exploite le procédé SILVA.

Un procédé prometteur

SILVA est un procédé très sélectif, capable de produire le mélange enrichi à la teneur demandée en une seule étape, à la différence des autres procédés qui requièrent de multiples opérations dans des usines de très grande taille. Dans les années 1980, SILVA apparaît prometteur en France, aux Etats-Unis et au Japon pour succéder au procédé de diffusion gazeuse en cours d'exploitation industrielle.

A partir de 1985, les études sur le procédé d'enrichissement par laser s'intensifient au CEA, à la fois à Saclay et à Pierrelatte. D'importants progrès sont enregistrés en modélisation, sur les lasers, les matériaux et l'évaporation de l'uranium. En 2000, une expertise industrielle destinée à comparer SILVA et l'ultracentrifugation dans la perspective de la construction d'une usine à échéance rapprochée conclut cependant à l'avantage de l'ultracentrifugation. Ce dernier procédé, déjà industrialisé à l'étranger, a bénéficié dans les années 1990 d'un saut technologique. Les matériaux composites à fibres de carbone ont permis d'accroître notablement la vitesse de rotation des centrifugeuses. Néanmoins, le potentiel à plus long terme du procédé SILVA incite le CEA à conduire entre 2000 et 2003 un programme complémentaire pour clarifier sa faisabilité technique et capitaliser ainsi les connaissances acquises.

Les essais à Pierrelatte

Ce programme, conduit dans un délai très court, a consisté à intégrer l'ensemble du procédé autour de l'évaporateur à l'échelle 1 de Pierrelatte avec une puissance laser à l'échelle $^1/_4$. En produisant, en novembre 2003, quelque 200 kg d'uranium

Le saviez-vous ?

Des atomes d'uranium sont produits à partir d'un lingot d'uranium métallique, porté à très haute température par bombardement d'électrons. Ces atomes constituent un « jet » animé d'une grande vitesse. Dans la partie supérieure du séparateur, ils sont irradiés par le faisceau laser. Les atomes d'uranium 235 deviennent des ions chargés électriquement et sont déviés par un champ électrique. Ces ions 235 sont « capturés » par des plaques sous tension où le mélange enrichi est collecté tandis que les atomes d'uranium 238 poursuivent leur trajectoire sans perturbation.

enrichi à la teneur prévue, le CEA a apporté la démonstration technique du procédé SILVA. Un autre essai, dédié à la physique de l'interaction laser-vapeur, a permis de valider les codes de calcul prédictifs développés à Saclay en collaboration avec la société CSSI. Il sera ainsi possible, le moment venu, d'extrapoler les performances attendues à l'échelle d'une usine. Dans un contexte de compétitivité économique accrue sur le marché de l'enrichissement, le développement prévisible des lasers et de l'optique ainsi que la très forte sélectivité du procédé, donnent à SILVA un potentiel d'avenir après l'ultracentrifugation.

1 Département de physico-chimie, Département de modélisation des systèmes et structures.
2 SILVA : Séparation isotopique par laser sur vapeur atomique.
3 Isotopes : les isotopes d'un élément ont les mêmes propriétés chimiques et ne diffèrent que par leur masse.

Contact : mauchien@carnac.cea.fr

1 Les lasers de Pierrelatte délivrent une puissance égale au quart de ce qui serait nécessaire à l'échelle d'une usine.

2 Les équipes de Saclay, spécialisées dans les domaines de l'optique et la modélisation, ont conçu et réalisé le système d'éclairement de la vapeur et l'ont mis en œuvre à Pierrelatte tout au long des essais.

Énergie nucléaire

Stockage des déchets radioactifs : premières expériences du CEA à Bure

Le site de Bure, dans la Meuse, a été retenu par l'ANDRA[1] pour créer un laboratoire souterrain d'étude du stockage de déchets radioactifs. La roche argileuse qui abrite ce laboratoire a la particularité d'être très peu perméable. L'eau joue un rôle majeur dans l'évolution à long terme d'un éventuel stockage. Sur des dizaines de milliers d'années, elle pourrait en effet corroder les conteneurs, dissoudre les éléments radioactifs puis les disperser. Il est donc important de voir comment ces éléments peuvent se déplacer, « migrer » dans l'eau de la couche argileuse.

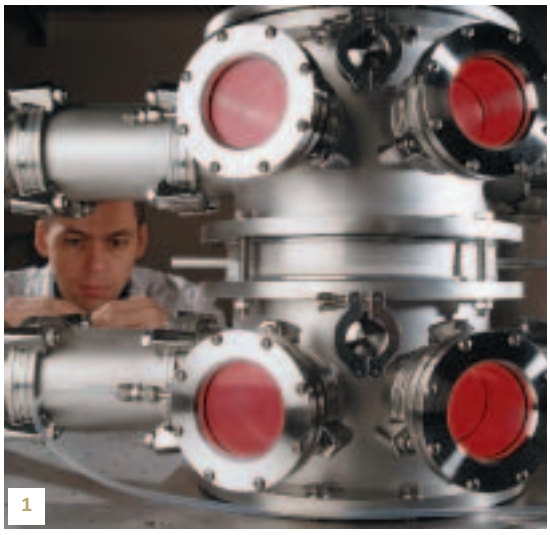
L'ANDRA a chargé des ingénieurs du centre CEA de Saclay de mesurer à quelles vitesses des radioéléments peuvent migrer au sein de la roche. Dans six mois, une équipe du DPC[2] en collaboration avec le DIMRI[3] démarrera les premières expériences de «traçage» en fond de forage. Avant même l'achèvement, fin 2004, des galeries du laboratoire souterrain prévues à cet effet. Les opérations, qui doivent se dérouler à 500 mètres de profondeur, seront pilotées depuis la surface, ce qui est une première. Rendez-vous au printemps 2005 pour les premiers résultats !

1 ANDRA : Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs.
2 DPC : Département de physico-chimie.
3 DIMRI : Département de l'instrumentation et de la métrologie des rayonnements ionisants.

Contact : poinssot@azurite.cea.fr

1 Au cours du creusement des puits, les géologues analysent mètre par mètre les différentes couches rencontrées.

NANOTECHNOLOGIES : RECOMPOSER LA MATIÈRE



1

Recomposer la matière à partir de minuscules « briques » pour lui conférer des propriétés sur mesure, c'est l'une des promesses des nanotechnologies. Un nouveau procédé d'agglomération de particules de dimension nanométrique[1] permet d'élaborer des céramiques[2] composites aux propriétés mécaniques améliorées. Celles-ci se révèlent plus dures et plus résistantes à la rupture et à l'usure que leurs homologues fabriquées à partir de poudres microniques[3]. Ces matériaux résisteront mieux aux environnements extrêmes tels que ceux rencontrés dans les réacteurs nucléaires de future génération.

Ce nouveau procédé de densification mis au point par le Laboratoire d'innovation pour les technologies des énergies nouvelles du CEA donne naissance à une microstructure de fibres très homogène au sein d'une matrice-mère.

Pour développer toutes les potentialités des nanoparticules, sous forme pulvérulente ou solide, le centre CEA de Saclay vient de se doter d'une installation pilote de synthèse de nanoparticules par « pyrolyse[4] laser », fruit d'une collaboration entre les chercheurs du Département de recherche sur l'état condensé, les atomes et les molécules et les ingénieurs du Département d'étude et de contrôle des structures.

Contact : françois.tenegal@cea.fr

1 Particules de taille voisine du cent millième de millimètre (10 nanomètres).
2 Céramique : matériau manufacturé qui n'est ni un métal, ni un produit organique.
3 Micronique : à l'échelle du millième de millimètre (micromètre).
4 Pyrolyse : décomposition chimique obtenue par chauffage.

1 L'installation de synthèse de nanopoudres du centre CEA de Saclay va prochainement démarrer une production de haute qualité, à une cadence voisine du kilogramme par heure.

Le saviez-vous ?

Les nanotechnologies visent à élaborer de nouveaux matériaux et des composants toujours plus petits, à construire « atome par atome » de nouvelles molécules, à les assembler pour réaliser de nouvelles fonctions, à exploiter des phénomènes nouveaux qui n'apparaissent qu'à l'échelle du nanomètre (millionième de mètre).

Sciences du vivant

LA LUTTE DU VIVANT CONTRE L'OXYDATION

L'oxygène que l'on respire contribue au vieillissement de l'organisme par oxydation progressive. Ce mécanisme est également à l'origine de maladies neurologiques, cardio-vasculaires et de cancers.

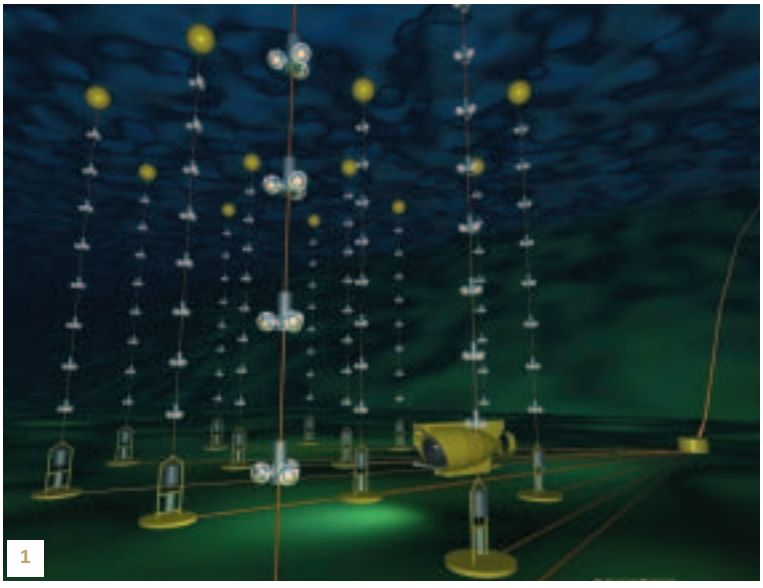
Pour la première fois, des chercheurs du Département de biologie Joliot Curie du centre CEA de Saclay ont pu identifier un mécanisme de détection de ces oxydants dans une levure, un organisme modèle pour l'étude de la cellule humaine. Il s'agit d'un véritable système de veille cellulaire détectant la présence d'oxydants et déclenchant la production d'anti-oxydants. En cas de défaillance de ce dispositif, la cellule ne peut survivre.

Plus récemment, la même équipe a découvert une nouvelle réaction biologique qui répare des protéines rendues inactives par oxydation. Les chercheurs ont également identifié l'enzyme responsable de cette réaction et l'ont baptisée sulfirédoxine. Cette sulfirédoxine, qu'ils ont découverte chez la levure, est présente dans les règnes animal et végétal.

L'ensemble de ces résultats apporte des éléments nouveaux sur les mécanismes de défense de la cellule vivante contre le stress oxydant et ouvre un champ d'investigation dans la compréhension du vieillissement et des pathologies cancéreuses.

Contact : toledano@dsvidf.cea.fr

Antares : un télescope sous la Méditerranée



1

Immergé à plus de 2 000 mètres de fond au large des côtes varoises, le télescope Antares[1] vient d'être essayé à un stade de prototype. L'installation définitive va démarrer prochainement et début 2005, les détecteurs du télescope pourront commencer leur traque d'insaisissables particules cosmiques appelées neutrinos. Chaque seconde, des milliards de ces particules fantomatiques traversent chaque centimètre carré de notre planète. Seule une infime fraction d'entre elles heurte un atome et se transforme en une autre particule, un muon, qui signe alors son passage dans l'eau par une lueur bleue ténue. C'est cette lueur que les détecteurs guettent, braqués vers le fond sous-marin et protégés par l'eau des rayonnements cosmiques indésirables. Antares devrait analyser environ 2 000 neutrinos par an, une fois que le déploiement des détecteurs sera achevé en 2006. Initié par des chercheurs du CNRS et du centre CEA de Saclay (Dapnia[2]), ce projet a agrégé au fil du temps de nombreux laboratoires français et européens. Les observations d'Antares devraient apporter une réponse à des questions telles que la masse du neutrino, la répartition et la nature de la masse invisible de l'univers.

1 Antares: Astronomy with a Neutrino Telescope and Abyss environmental RESearch.

2 Dapnia : Département d'astrophysique, de la physique des particules, de la physique nucléaire et de l'instrumentation associée.

Contact : lmoscoso@cea.fr

1 Le télescope Antares est formé de lignes auxquelles sont accrochés les globes détecteurs. Ces détecteurs sont dirigés vers le fond pour guetter les traces de neutrinos qui ont traversé la Terre.

Recherche technologique

Mercure industriel sous surveillance

Sept usines françaises produisant du chlore, de la soude et de la potasse exploitent jusqu'à 140 réacteurs chimiques, contenant chacun entre 800 kg et sept tonnes de mercure. Chaque année, elles remettent à la DRIRE[1] un bilan de leur consommation de mercure. Depuis 2001, une équipe du Service d'instrumentation et applications des rayonnements du centre CEA de Saclay établit les bilans de mercure de ces usines. Le procédé consiste à diluer dans le mercure utilisé une quantité connue de mercure radioactif et à mesurer la radioactivité d'un échantillon prélevé après homogénéisation du mélange. Cette mesure permet de remonter à la quantité de mercure présente dans le réacteur et, par comparaison aux valeurs précédentes, aux rejets. Cette méthode fournit un résultat précis sans arrêt prolongé de l'installation.

2

1 DRIRE : Direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement.

Contact : fromentin@babaorum.cea.fr

2 Le procédé de « traçage » radioactif développé par le CEA permet de mesurer avec une extrême précision la quantité totale de mercure utilisée pour une production industrielle et de contrôler ainsi le niveau des rejets de mercure.

MegaCam : une caméra astronomique géante

La plus grande caméra astronomique du monde a été mise en service, il y a un an, à l'observatoire Canada-France-Hawaï, situé au sommet du volcan Mauna-Kea sur l'île d'Hawaï. Cet instrument de nouvelle génération a été conçu et réalisé au Dapnia[1], au centre CEA de Saclay.

Première caméra numérique à très grand champ, MegaCam permet de cartographier en une seule fois une région équivalente à 150 fois la surface couverte par un appareil photo numérique grand public, soit quatre pleines lunes. Un atout précieux pour les astronomes, astreints à des poses longues répétées.

Le programme d'observation de MegaCam s'annonce chargé : trois grands relevés du ciel nécessiteront 500 nuits de télescope sur cinq ans. Deux de ces relevés intéressent particulièrement les astrophysiciens de Saclay. L'un permettra d'étudier la répartition de la matière cosmique à l'échelle de très grandes structures et l'autre, les supernovae[2] dans les galaxies lointaines, ce qui devrait éclairer l'histoire de l'expansion de l'univers. Avec des performances rivalisant avec celles du télescope spatial Hubble et une surface couverte près de trois cents fois plus importante !

1 Dapnia : Département d'astrophysique, de la physique des particules, de la physique nucléaire et de l'instrumentation associée.

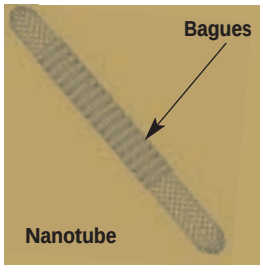
2 Supernova : explosion violente d'une étoile massive en fin de vie.

Contact : oboulade@cea.fr

1 Avec près de 400 millions de « pixels » (picture element), la caméra MegaCam développée au centre CEA de Saclay élargit formidablement le champ d'observation de l'un des télescopes de l'observatoire Canada-France-Hawaï situé sur l'île d'Hawaï.

Sciences du vivant

Nanotubes de carbone pour les biotechnologies : mode d'emploi



Dans certaines conditions, les atomes de carbone s'assemblent spontanément en « nanocylindres », d'une longueur de l'ordre du micron (millième de millimètre) et de diamètre voisin du nanomètre (millionième de millimètre). Cette géométrie leur confère des propriétés mécaniques et électriques remarquables, explorées notamment en électronique.

L'emploi des nanotubes de carbone pour les biotechnologies était entravé jusqu'à présent par leur insolubilité dans l'eau et les solvants organiques. Des chercheurs du Service de marquage moléculaire et de chimie bioorganique du centre CEA de Saclay ont mis au point des réactifs chimiques qui forment des « bagues » autour des nanotubes de carbone. Ces bagues rendent les nanotubes solubles et offrent un point d'ancrage à des protéines, ce qui permet de mimer la structure d'une membrane cellulaire. Ces superstructures moléculaires pourront servir à élaborer des biocapteurs capables de doser les molécules de l'organisme, ou encore à transporter des composés insolubles dans l'eau, ouvrant ainsi la voie à des médicaments complexes.

Contact : mioskowski@dsvidf.cea.fr

Conférences Cyclope Juniors

Le centre CEA de Saclay organise, depuis des années maintenant, chaque trimestre, des conférences "Cyclope" destinées à présenter l'actualité scientifique et technique. Désormais, en plus de ces conférences "tout public", nous proposerons des conférences plus spécialement destinées aux juniors (collégiens et lycéens essentiellement). Le contenu scientifique des conférences "Cyclope juniors" sera, bien entendu, toujours du meilleur niveau, mais les thèmes choisis et la manière de les exposer seront spécialement conçus pour être parfaitement accessibles aux jeunes, qui pourront venir accompagnés de leurs parents.

Mardi 30 mars 2004

Mais où est donc le temple du soleil ?

Par Roland Lehoucq, chercheur au Dapnia/Service d'astrophysique, Saclay

Où est le temple du Soleil dans lequel Tintin a failli finir au bûcher ? Quel jour Tintin a-t-il posé le pied sur la Lune ? Que faisait-il le soir de sa découverte de l'étoile mystérieuse ? Quelle est la nature de cet astre inconnu ? Pour répondre à ces questions, il faut se lancer dans une enquête minutieuse, parcourir le Pérou et l'Amérique du Sud, suivre Tintin sur la Lune, mener l'enquête dans les rues de Bruxelles ou interroger l'astrophysique moderne sur l'origine des corps célestes ! Les étonnants résultats de ces investigations seront présentés durant cette conférence. Les aventures de Tintin sont aussi une occasion de se livrer à une ballade scientifique pleine de surprises, ajoutant au plaisir de la lecture ceux de la découverte et de la connaissance. N'y aurait-il pas quelques subtils indices qui, tels les cailloux du petit Poucet, nous permettraient de remonter la piste pour en apprendre plus sur le monde et l'histoire du jeune reporter ? Nous explorerons les espaces insoupçonnés qui se cachent derrière d'infimes détails. Et, parfois, sans crier gare, une révélation surgit. La science est un extraordinaire outil d'enquête qui permet de démêler le moindre indice, de déchiffrer l'univers selon Hergé et l'Univers tout court.

Séquence photographique montrant le déroulement complet d'une éclipse. Une image est prise toutes les cinq minutes. La durée totale du phénomène avoisine les deux heures trente.

Conférence Cyclope

Lundi 15 mars 2004

«Num@tec : une plate-forme d'innovation pour les technologies numériques»

Par Jean-Louis Pierrey, chef du projet Num@tec

Num@tec est une plate-forme centrée sur les technologies numériques, ouverte à tous les acteurs de l'industrie et de la recherche. Elle accueillera, sur le plateau de Saclay, des start-up dans un incubateur, accompagnera les PME par des services à l'innovation et proposera des formations à la recherche et à l'entrepreneuriat (voir page 3). La conférence de Jean-Louis Pierrey permettra de présenter plus complètement cet ambitieux projet.

Renseignements pratiques (valables pour les conférences "Cyclope" et "Cyclope juniors") :
Accès : *ouvert à tous, entrée gratuite*
Lieu : *Institut national des sciences et techniques nucléaires, Saclay (voir plan)*
Horaire : *20 heures*
Organisation/renseignements : *Centre CEA de Saclay,*
Unité communication et affaires publiques
Tél : *01 69 08 52 10*
Adresse postale : *91191 Gif-sur-Yvette Cedex*